Experimentelle Untersuchung am Menschen

über den

Einfluss der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch und die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe als Quelle der Muskelkraft.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

k. bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Prof. **H. Newton Heineman**
aus New-York.

München 1898.
Kgl. Hof-Buchdruckerei Kastner & Lossen.

Experimentelle Untersuchung am Menschen

über den

Einfluss der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch und die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe als Quelle der Muskelkraft.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

gesamten Medizin

verfasst und einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

k. bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Prof. **H. Newton Heineman**
aus New-York.

München 1898.
Kgl. Hof-Buchdruckerei Kastner & Lossen.

Referent: **Herr Geheimrat Prof. Dr. Karl von Voit.**

Seitdem durch die bekannten Versuche von Fick und Wislicenus[1]) dargethan ist, dass die Verbrennung von Protëinstoffen nicht die ausschliessliche Kraftquelle des Muskels sein kann, — eine Annahme, die besonders durch Liebig vertreten worden ist, haben zahlreiche Forscher Untersuchungen darüber angestellt, in welcher Weise die einzelnen Nahrungsmittel für die Muskelarbeit von Bedeutung sind. So hat Voit[2]) gefunden, dass hungernde, fettreiche Hunde oder auch solche, welche sich bei einer bestimmten Fleischkost im Stickstoffgleichgewicht befanden, bei der Arbeit verhältnismässig nur wenig mehr Eiweiss verbrauchten, als in der Ruhe. In anderen Fällen allerdings ist der Eiweisszerfall bei der Muskelarbeit erheblich gesteigert, so in den Versuchen von Argutinsky[3]), einem Schüler Pflüger's[4]) und auch von diesem selbst. Jene Forscher fanden bei ihren Versuchen, die infolge der Muskelthätigkeit bewirkte Mehrzersetzung an Eiweiss so bedeutend, dass sie zur Annahme geführt wurden, die Quelle

[1]) Vierteljahresschrift Ges. Bd. 10. 1865 317.
[2]) Vgl. Hermann's Hdbch. Band 6. 1881 I. 187.
[3]) Pflüger's Arch. 46. 1889 552.
[4]) Pflüger's Arch. 50. 1891 98.

der Muskelthätigkeit seien hauptsächlich die Eiweissstoffe.[1])

Die Schwierigkeit der Untersuchungen über die Frage nach der Quelle der Muskelkraft wird erhöht durch die Möglichkeit, dass aus dem Eiweiss durch den Stoffwechsel Kohlenhydrat gebildet werden kann, wie dies z. B. bei dem experimentellen Phlorhizindiabetes so wie im schweren Diabetes des Menschen der Fall ist. Eine erhebliche Vermehrung des Eiweisszerfalls bei der Muskelarbeit scheint regelmässig dann aufzutreten, wenn die Nahrung nicht dem durch die Arbeit gesteigerten Stoffverbrauch entsprechend erhöht wird. Auch dann, wenn die Arbeit eine so intensive ist, dass sie zur Athemnot führt oder eine starke Erhitzung des Körpers zur Folge hat, scheint die Steigerung des Eiweissverbrauchs eine grössere zu sein.[2]) Wie gering bei Vermeidung dieser Störung die Vermehrung des Eiweisszerfalls bei der Muskelarbeit ist, haben Versuche von Herrn Dr. Frentzel[3]) ergeben, die derselbe im Laboratorium des Herrn Prof. Zuntz ausgeführt hat. In vielen älteren Versuchen hatte man eine Erhöhung des respiratorischen Quotienten während der Muskelarbeit gefunden und daraus geschlossen, dass im thätigen Muskel entweder nur eine unvollkommene Verbrennung der Kraft liefernden Nährstoffe unter Zurückbleiben eines Kohlenstoffärmeren Restes stattfinde, oder auch, dass die Kohlen-

---

[1]) Argutinskis Versuche sind von Andern als nicht beweiskräftig erkannt worden, z. B. von Munk, Hirschfeld und Krummacher.

[2]) Vgl. Oppenheim, Pflüger's Arch.

[3]) Voit und Krummacher.

hydrate, welche bei ihrer Verbrennung den respiratorischen Quotienten 1 liefern, vorwiegend bei der Muskelarbeit verwendet würden. Zuntz und seine Mitarbeiter Lehmann, Hagemann, Katzenstein und Loewy haben durch Versuche am Menschen und Pferde nachgewiesen, dass die Steigerung des respiratorischen Quotienten in den früheren Versuchen auf Störungen der Athemmechanik zurückzuführen seien. Der respiratorische Quotient bleibt bei der Arbeit zunächst unverändert und ändert sich bei länger dauernder Arbeit des Pferdes in dem Sinne, wie es einem allmähligen Verbrauch der Kohlenhydrate und dafür eintretender reichlicherer Fettmengen entspricht, d. h. er nimmt bei länger dauernder Arbeit langsam ab. Der Grund ist offenbar, dass der Vorrat an Kohlenhydraten im Blute und im Darm, aufgebraucht und nicht durch neue Nahrungszufuhr ersetzt worden war.

Eine grössere Anzahl von Untersuchungen über die Frage nach der Quelle der Muskelkraft, resp. die Frage, wie weit die chemische Energie der wesentlichen Nährstoffe, welche wir aufnehmen und welche in unserem Blute zirkulieren, geeignet ist, im thätigen Muskel in mechanische Arbeit umgesetzt zu werden, ist von N. Zuntz[1]) im Vereine mit W. Loeb und Frentzel ausgeführt worden. Dieselben suchten die Frage in der Weise zu entscheiden, dass sie durch Respirationsversuche bei ruhenden und arbeitenden Tieren die Grösse der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureausscheidung einmal in der Ruhe, dann

[1]) Verh. d. Physiol. Ges. 1894 Nr. 14.

bei genau bemessener Arbeitsleistung bestimmten, wobei die 24 stündige Stickstoffausscheidung in dem aufgefangenen Harne mit in Rechnung gezogen wurde.

Hierbei sollte vor allem auch die Frage entschieden werden, ob, wie von Seegen und auch Chauveau behauptet wird, Fett eine Umwandlung in Kohlenhydrat erleide, ehe es für die Muskelthätigkeit zur Verwendung kommt. Nach der Annahme von Seegen und von Chauveau sollte diese Umwandlung in der Leber vor sich gehen. Durch eine derartige Umbildung würden 29% der Energie des Fettes verloren gehen, wenn man mit Chauveau annimmt, dass der Wasserstoffgehalt des Fettes dem des gebildeten Zuckers gleich sei. Dabei müsste dann ein Teil des Fettmoleküls als CO_2 abgeschieden werden, wodurch die Verbrennungswärme des gebildeten Zuckers um 29% geringer als die des ursprünglichen Fettes wird. Nimmt man dagegen an, dass der Kohlenstoffgehalt gleich bleibt und dass der fehlende Wasserstoff in Form von H_2O eintritt, so würde die Verminderung der Verbrennungswärme des gebildeten Zuckers gegenüber dem Fett immerhin noch 24,3% betragen.

Falls diese Annahme von Chauveau richtig wäre, müsste ausser der im Muskel selbst auftretenden, für die mechanische Arbeit verwendeten Energiemenge auch noch die Energiemenge in Form von Wärme auftreten, welche bei der Umwandlung des Fettes in Zucker frei wird. Versuche, die N. Zuntz im Vereine mit W. Loeb an Hunden anstellte, zeigten jedoch, dass diese Annahme nicht richtig ist. Diese Forscher sahen bei verschiedenartiger Ernährung ziemlich die gleiche Energiemenge frei werden, ob nun die Er-

nährung so geleitet war, dass das Tier mit Eiweiss überschwemmt wurde und also vorwiegend aus Eiweiss seine Energie beziehen musste, oder so, dass ihm wesentlich nur Fett und nur mässige Menge von Eiweiss zur Verfügung standen.

Diese Untersuchungen sind nun von mir auf den Menschen ausgedehnt worden, um zu sehen, ob die Ergebnisse der an Tieren angestellten Versuche auch auf den Menschen übertragbar seien. Als Versuchsobjekt diente für alle Versuche ein an leichte mechanische Arbeit gewöhnter Taglöhner. Derselbe war 40 Jahre alt und wog durchschnittlich 64,5 kg. Bei der ganzen Untersuchungsdauer von ungefähr 1 Monat behielt er fast dasselbe Gewicht, mitunter wurde ein Plus von ca. $^1/_2$ kg konstatiert. Um jeglichen Irrtum zu vermeiden, hatte ich vor Beginn der eigentlichen Versuche mit dem betr. Versuchsobjekt 2 Wochen lang Probeversuche ausgeführt, so dass am Ende dieser Probezeit das Versuchsobjekt und ich mit allen Einzelheiten des Experimentes vollständig vertraut waren. Auch zeigten sich bei dem Versuchsobjekt keinerlei derartige Schwankungen bei Aenderung der Nahrung, wie sie bei Danilewsky auf Grund weitgehender Erfahrung bei solchen Versuchen vermerkt werden. Als eiweissreiche Nahrung diente Fleisch, Eier und Käse. Leider war es nicht möglich, ihm reine Eiweissnahrung zuzuführen, da sein Magen nur mässige Eiweissmengen vertrug, so dass der grösste Teil der gesamten im Körper umgesetzten Energie auch bei der eiweissreichsten Kost noch auf Rechnung der anderen Stoffe zu setzen ist. Eine höhere Stickstoffmenge als 21 g Stickstoff im täglich ausgeschiedenen Harn liess

sich nicht erreichen. Als kohlenhydratreiche Kost wurden neben möglichst wenig Eiweiss, Reis, stärkehaltige Puddings, Milchzucker, Traubenzucker, Rohrzucker gegeben; die Stickstoffausscheidung war dabei bis auf 7,4 g in der täglichen Harnmenge heruntergedrückt. Hinsichtlich der Fetternährung wurde möglichst viel Fett, fette Wurst und ähnliche Dinge verabreicht, jedoch war eine ausschliessliche Fetternährung auch hier nicht möglich, da, abgesehen von dem Eiweissgehalt der Wurst neben dem Fett immer etwas Brot gereicht werden musste. Der Stickstoffgehalt im täglich ausgeschiedenen Harn zeigte ungefähr denselben Wert wie bei Kohlenhydratnahrung, nämlich 8 g pro Tag.

Die für den Urin gewonnenen Zahlen zeigen einige Schwankungen, obgleich ich mich hinsichtlich der Sammlung des Urins auf das Versuchsobjekt verlassen konnte. Die tägliche Stickstoffbestimmung im Urin wurde von mir mit Hilfe eines chemischen Kollegen ausgeführt und ist an deren Richtigkeit nicht zu zweifeln.

Die Faeces wurden nicht untersucht, jedoch wurden die hiefür in Rechnung zu setzenden Werte in später zu schildernder Weise berücksichtigt.

Die Versuche wurden nun in der Weise angestellt, dass wir immer des abends mit der neuen Kost anfingen. Die am folgenden Tage erhaltenen Daten wurden niemals verwertet, sondern erst die vom zweiten Tage, so dass wir immer gewiss waren, dass der Körper des Versuchsobjektes völlig unter dem Einflusse der neuen Nahrung stand.

Es wurden täglich Ruhe- und Arbeitsversuche

durchgeführt. Vor jedem Ruheversuche hatte sich das Versuchsobjekt wenigstens ½ Stunde lang auf dem Sofa ausgeruht, welche Lage dasselbe auch während der Versuchsdauer beibehielt. Die Ruheversuche dauerten gewöhnlich 25—30 Minuten, von den Arbeitsversuchen machten wir häufig zwei nacheinander. Einige Unregelmässigkeiten bei den erhaltenen Werten sind vielleicht dem Umstande zuzuschreiben, dass das Versuchsobjekt mitunter vor- und nachmittags herangezogen wurde. Da der Mann inzwischen eine Mahlzeit genossen hatte, so sind einige beobachtete kleine Schwankungen wohl hierauf zurückzuführen.

Hinsichtlich der Arbeitsversuche ist zu erwähnen, dass das betr. Individuum niemals durch dieselben ermüdet wurde. Der zur Verwendung kommende Gaertnersche Ergostat war gewöhnlich auf 10—11 Kilo gebremst und vor und nach jedem Versuche wurde derselbe sorgfältig geaicht. Die Aichung wurde in folgender Weise ausgeführt: Die Kurbel des Ergostats wurde entfernt und dann wurde um die Radwelle eine Schnur gelegt, die über ein anderes Rad führte. Am Ende der Schnur wurden Gewichte angebracht und so lange gewechselt, bis dieselben das Rad des Ergostaten in ungefähr demselben Tempo drehten, mit dem es das Versuchsindividuum bewegt hatte. Durch einige von mir angebrachte Verbesserungen wurde für eine gute Oelung des Apparates Sorge getragen. Hierdurch wurde erreicht, dass die Arbeitsleistung des Versuchsobjektes für jede Minute ziemlich die gleiche blieb. Das Rad des Ergostaten machte je zwei Umdrehungen in 5 Sekunden. Diese Zeit wurde durch eine elektrische Uhr kontrolliert.

Der für die Luftzufuhr und die Ableitung der ausgeatmeten Luft dienende Apparat bestand aus einem U-förmigen Zinkblechrohr, in dessen konkaver Biegung sich ein Ansatzrohr befand. An diesem Ansatzrohr wurde ein Gummimundstück befestigt. Die beiden Enden des Zinkrohrs wurden dem Versuchsobjekte über die Schulter gelegt und am Rocke befestigt, so dass bei dem Arbeitsversuch keinerlei Störung hierdurch eintreten konnte. An diesen Enden waren weiterhin Ventile angebracht, die in entgegengesetzter Weise, das eine für Exspiration, das andere für Inspiration wirkten. Die Ventile waren aus Glas und die Oeffnungen waren mit Schafsdarm, der immer mittelst Glycerin in guter Funktion erhalten wurde, versehen.

Die eingeatmete Luft wurde durch eine Rohrleitung dem Freien entnommen; die Exspirationsluft wurde in bekannter Weise in einer mit Thermo-Barometer versehenen Gasuhr gemessen und eine Durchschnittsprobe derselben in dem von Magnus-Levy[1]) beschriebenen Apparate, der eine doppelte Bestimmung jeder Probe ermöglichte, analysiert.[2])

Was die Diät der Versuchsperson und damit im Zusammenhange die Grösse ihres Eiweissumsatzes betrifft, so wurde dieselbe 10 mal geändert und in jeder der so gebildeten Perioden eine Anzahl Respirationsversuche ausgeführt.

---

[1]) Pflüger's Arch. Bd. 55.

[2]) Die Ablesung aus dem Ergostaten wurde stets je eine halbe Minute vor Beginn und vor Beendigung der Arbeit vorgenommen, was uns für die Gewinnung der eigentlich in Betracht kommenden Exspirationsluft als das richtigste erschien.

1. Periode vom 9.—18. Februar. Eiweissdiät:

In diesem Zeitraum wurde eine möglichst eiweissreiche, aber nicht genau zugewogene Kost gegeben. Der Stickstoffgehalt des Urins, welcher am 10. Febr. 9,33 g pro 24 Stunden betrug, stieg am 11. Febr. bis auf 21,52 g. In den folgenden Tagen, in denen die Kost annähernd dieselbe blieb, wurde keine Stickstoffbestimmung ausgeführt.

2 Periode vom 18.—22. Februar. Kohlenhydratdiät:

Die Nahrung der Versuchsperson bestand in dieser Periode in Reis, Rohrzucker, Weissbrot, sog. Schrippe und etwas Bier. Ihr Stickstoffgehalt nach den Tabellen von König gerechnet, schwankte zwischen 6,5 und 8,3 g. Die Stickstoffausscheidung durch den Harn wurde 20. Febr. zu 10,01 g bestimmt, überstieg aber etwas die Zufuhr. Von Kohlenhydraten wurden in Form von Stärke und Zucker am 18. und 19. Febr. je 613 g aufgenommen. Die im Biere zugeführte Alkoholmenge betrug täglich 14,7 g. Der Wärmewert dieser Nahrung ist auf 2800 Kal. zu veranschlagen.

3. Periode vom 22. Februar bis 5. März. Fettdiät:

Die Nahrung bestand in fetter Wurst, Butter, Eiern, denen des Geschmacks wegen kleine Mengen Bier und in einzelnen Tagen etwas Pumpernickel zugefügt wurde. Der nach König geschätzte Stickstoffgehalt der Nahrung bewegte sich um 10,4 g. Damit stimmt die Ausscheidung im Urin, welche in den ersten sechs Tagen 9,1—9,5 g betrug, dann all-

mählich absank auf 8,1, 7,0, 7,1 g N. Der Kalorienwert dieser Nahrung schwankte zwischen 2500—2800.

4. Periode vom 5.—13. März. Eiweissdiät:

Während dieser Periode bestand die Nahrung in magerem Fleisch und Käse: in der letzteren Hälfte wurden anstatt Käse hauptsächlich Eier verabreicht. Das Körpergewicht der Versuchsperson zeigte während dieser Zeit eine kleine Zunahme. Infolge der Unfähigkeit des betr. Individuums übermässige Eiweissnahrung zu konsumieren, war es nicht möglich, den Stickstoffgehalt des Harns auf mehr als 20—21 g pro die zu erhöhen; während einiger Tage war derselbe sogar etwas geringer. Der Kalorienwert der Nahrung ist nicht zu bestimmen, da die Versuchsperson die zugewogene Nahrung nicht quantitativ verzehren konnte.

Die Gewichtszunahme spricht dafür, dass die Nahrung eine ausreichende war.

5. Periode vom 13.—17. März. Kohlenhydratdiät:

In dieser Periode war die Nahrung ungefähr dieselbe, wie in der zuerst erwähnten. Es wurde versucht, die Menge des Reises zu vermindern und mehr Zucker zu reichen. Bei dieser Diät bekam das Versuchsindividuum jedoch Durchfall und musste deshalb hierbei ab und zu etwas Braten gegeben werden. Der Stickstoffgehalt der Nahrung betrug infolge dieser Zufuhr an Eiweiss ca. 14 g; dementsprechend wurde auch im Harn etwas mehr Stickstoff gefunden, nämlich 12,8 g. Der Kalorienwert für Stärke und Zucker schwankte zwischen 2600—3800.

6. Periode vom 27. März bis 2. April; Eiweissdiät:

Als Nahrung dienten Fleisch und Eier: Das Körpergewicht blieb unverändert. Da Verdacht besteht, dass die gegebenen Eiweissmengen nicht vollständig aufgenommen wurden lassen sich bezüglich Kalorienwertes keine bestimmten Zahlen geben.

7. Periode vom 2. bis 7. April; Kohlenhydratdiät:

Die Nahrung und alle anderen Umstände waren dieselben wie in der 5. Periode. Stickstoffgehalt der Nahrung und des Harns zeigten im Mittel befriedigende Uebereinstimmung. Erste enthält etwa 9 gr Stickstoff pro Tag, wovon durchschnittlich 7 gr im Urin wiedergefunden wurden. Der Kalorienwert von Reis und Zucker zeigte Schwankungen von 2200 bis 3400.

8. Periode vom 7. bis 11. April; Fettdiät:

Für diesen Zeitraum gilt dasselbe wie für die Zeit vom 22. Februar bis 5. März. Der Kalorienwert zeigte an allen Versuchstagen eine ziemliche Uebereinstimmung nämlich ca. 4000 Kalorien.

9. Periode vom 14. bis 25. April; Kohlenhydratdiät:

Der Stickstoffgehalt der Nahrung betrug konstant 8,7 gr. Es wurden in dieser Periode 15 Stickstoffbestimmungen im Harne ausgeführt, von denen zwei einen Gehalt von 5,2 gr N. ergaben. Alle übrigen zeigten Werte von 7,3, 8,9 und 8,0 gr., sodass das Mittel ungefähr 7,3 beträgt. Der Kalorienwert der Nahrung lag zwischen 2700 bis 3200

10. Periode vom 25. April bis 2. Mai; Fettdiät:

Der Kalorienwert der Nahrung betrug 3100 bis 5000. Da immerhin 15 Eier pro Tag gereicht wurden, so betrug der Gesamtstickstoffgehalt der Nahrung ca. 20 gr im Mittel ca. 25. Der geringe Stickstoffgehalt des Urins lässt sich nur so erklären, dass infolge der reichlichen Nahrung grössere Mengen Eiweiss unverdaut abgegangen sind, und ausserdem, da ein ziemlicher Ueberschuss an Nahrung vorhanden war, erheblicher Eiweissansatz stattfand.

Hinsichtlich der Bedeutung der grössten von mir gefundenen Stickstoffausscheidung (21 g) ist zu bemerken, dass der ruhende Mensch bei dieser Kost 71 ccm des pro die aufgenommenen Sauerstoffs für Oxydation des Eiweisses braucht. Bei Kohlenhydratfütterung betrug die für Oxydation des Eiweisses verwendete Sauerstoffmenge nur noch 31 ccm von 274 und bei der fettreichen Nahrung 36 von 318.

Als Beispiel der Anstellung und Berechnung der Versuche gebe ich das ausführliche Protokoll eines Ruhe- und eines Arbeitsversuches.

I. Ruhe-Versuch vom 7. April 1896.

Nachdem das Individuum etwa eine halbe Stunde ruhig gelegen hatte und seit einigen Minuten bereits bei verschlossener Nase durch das Mundstück in die Gasuhr geatmet hatte, begann die Ablesung um 10 Uhr 18, die Probenahme, nachdem ich mich von der normalen Atemgrösse überzeugt hatte, um 10 Uhr 23.

Zeit	Gasmesser	Atemgrösse		Thermo-Barometer v. Gasmesser
10.19	1840,8	10,2		—
10.20	1850,8	10,0		—
10.21	1860,6	9,8		—
10.22	1869,8	9,6		—
10.23	1879,8	9,6		107,42
10.24	1887,8	8,6		107,42
10.25	1895,8	8,0		107,47
10.26	1904,7	8,9		107,49
10.28	1921,9	17,2	(8,6)	107,51
10.29	1930,3	8,4		107,54
10.30	1939,9	9,6		107,57
10.32	1959,4	19,5	(9,8)	107,62
10.35	1984,9	24,4	(8,1)	107,65
10.36	1992,2	7,3		107,67
10.37	2000,0	7,8		107,69
10.39	2015,6	15,6	(7,8)	107,73
10.41	2032,4	16,8	(8,4)	107,73
10.42	2039,1	6.7		—
10.43	2047,1	8,0		107,77
10.44	2053,7	6,6		107,78

Um 10 Uhr 44 waren die beiden Sammelröhren mit der Gasprobe gefüllt und der Versuch beendet.

Folgendes waren die Daten der

Luft-Analyse:

	Rechte Röhre	Thermobarometer	Linke Röhre.
Ablesung I	100,43	93,79	100,05
„ II	100,44	93,78	100,06

Nach der Kohlensäureabsorption:

Ablesung I	97,55	93,80	97,14
„ II	97,54	93,81	97,15

Nach der Sauerstoffabsorption:

Ablesung I	79,70	93,83	79,40
„ II	79,70	93,84	79,39

Vorstehende Zahlen sind nun zunächst wegen Kaliberfehler der Gasröhren zu korrigieren. Wir erhalten dann folgende Werte:

Korrektur für Röhre:

Rechte Röhre	Linke Röhre.
100,48	100,06
100,49	100,07
97,56	97,15
97,55	97,16
79,61	79,32
79,61	79,31

Für die Volumänderung, welche die Kontrollprobe im Thermobarometer erfahren hat, sind die abgelesenen Gasvolumina in entsprechender Weise zu korrigieren. Die Unterschiede, welche durch die ungleichen Gasmengen im Thermobarometer und dem zu korrigierenden Rohre entstehen, werden vernachlässigt, solange der Betrag eine Einheit in der zweiten Decimale nicht überschreitet.

Reduktion auf den Anfangsstand des Thermobarometers.

Rechte Röhre	Linke Röhre.
100,48	100,06
100,50	100,08
97,55	97,14
97,53	97,14
79,57	79,29
79,57	79,27

Mittel vorstehender Ablesungen und Reduktion auf 100 ccm Anfangsvolum.

	Durchschnitt der Ablesungen	Red. auf 100 ccm Anfangsgas	Durchschnitt der Ablesungen
Urspr. Gas	100,49	100	100,07
O + H	97,54	97,07	97,14
	79,57	79,18	79,28

Red. auf 100 ccm Anfangsgas	Im Mittel
100	100
97,07	97,97
79,22	79,20

Das Gas enthielt also 100 — 97,07 = 2,93 ccm CO_2, wovon 0,03 als Gehalt der inspirierten atmosphärischen Luft abzuziehen sind, so dass auf 100 ccm exspirierter Luft 2,90 ccm vom Körper gebildeter Kohlensäure entfallen.

Der Sauerstoffgehalt der exspirierten Luft beträgt 97,07 — 79,20 = 17,87 ccm. Da der Stickstoffgehalt bei der Atmung unverändert bleibt, können wir aus ihm die Sauerstoffmenge berechnen, welche auf 100 ccm exspirierte und analysierte Luft eingeatmet worden ist. Die atmosphärische Luft enthält auf 79,07 ccm N 20,93 ccm O; folglich gehören zu den von uns gefundenen 79,20 ccm N 20,96 ccm O. Die auf 100 ccm ausgeatmeter Luft verbrauchte Sauerstoffmenge „das Sauerstoffdeficit", beträgt daher 20,96 — 17,87 = 3,09.

Der respiratorische Quotient ist also $\frac{2,90}{3,09} = 0,938$.

Der Stand des Gasmessers war
bei Beginn der Probe gleich 1879,2 Liter
am Schluss „ „ „ 2053,7 „

Es wurden also in 21 Minuten 174,7 Liter exspiriert
„ „ „ „ 1 „ 8,309 „
2

Die Thermobarometerablesungen am Gasmesser ergaben im Mittel die Zahl 107,617, d. h. 100 ccm Luft von 0° und 760 mm Druck nahmen bei den Temperatur- und Luftdruckverhältnissen des Versuches ein Volum von 107,617 ccm ein. Das auf Normaldruck und Temperatur reducierte Atemvolum per Minute war daher:

$$\frac{8{,}309}{1{,}0761} = 7{,}721 \text{ Liter.}$$

Da auf 100 ccm exspirierter Luft 3,09 ccm O verbraucht und 2,90 ccm CO_2 gebildet sind, beträgt die Sauerstoffaufnahme per Minute:

$$\frac{7{,}721 \cdot 3{,}09}{100} = 332{,}54$$

und die Kohlensäureausscheidung

$$\frac{7{,}721 \cdot 2{,}90}{100} = 312{,}04.$$

Bei dem Arbeitsversuche wurde der Gaswechsel in derselben Weise abgelesen und berechnet, wie beim Ruheversuch. Ausserdem wurde regelmässig der Stand des Tourenzählers am Ergostaten abgelesen und dadurch die Zahl der Umdrehungen bestimmt.

Das Protokoll eines solchen Versuchs, und zwar das vom 15. April 1896, gestaltet sich wie folgt. Dabei ist noch zu bemerken, dass die Ablesungen des Gasmessers jedesmal mit der vollen Minute erfolgten, die zugehörigen des Tourenzählers eine halbe Minute vorher und die des Thermobarometers immer um die $^1/_4$ Minute.

Zeit	Gasmesser	Atemgrösse	Thermobarometer	Tourenzähler
10.58	4140.7		107.74	1743
.59	4157.9	17.2	.74	67
11.	4178.0	20.1		90
.01	4199.8	21.8		1813
.02	4221.7	22.9		37
.03	4223.3	21.6	107.99	58
.04	4266.5	23.2		80
x .05	4290.0	23.5	108.15	1903
.06	4315.2	25.2	.22	25
.07	4340.6	25.4	.30	50
.08	4366.3	25.7	.41	74
.09	4392.2	25.9	.44	98
.10	4417.8	25.6	.49	2023
.11	4443.3	25.5	.54	47
.12	4468.9	25.6	.55	73
.13	4495.0	26.1	.58	98

Die Aichungen des Ergostaten ergaben unmittelbar vor Beginn des Versuches, dass zur Bewegung des Rades ein Gewicht

von 11,25 Ko
nach Beendigung des Versuchs 11.25 „
Im Mittel also 11.25 Ko

nötig waren.

Da der Radumfang 1,425 m beträgt, war also die Arbeitsleistung bei jeder Umdrehung:

1,425 x 11,25 = 15,931 Mr. kg.

Der Tourenzähler stand

um 11 Uhr 12½ Minute auf 2073
„ 11 „ 04½ „ „ 1880
in 8 Minuten „ 193
„ 1 „ „ 24,125

Die Arbeit betrug daher per Minute

24,125 . 15,931 = 384,35 M. Kg.

Die Luftanalyse in genau derselben Weise ausgeführt wie bei den Ruheversuchen ergab:

Rechte Röhre	Thermo-Barometer	Linke Röhre.
100.93	94.01	100.30
100.93	94.01	100.30
95.80	94.02	95.14
95.80	94.02	95.13
80.26	94.03	79.70
80.27	94.03	71.70

Nach Korrektur für Röhren (links)	(rechts)	Nach Korrektur für Thermo-Barometer (links)	(rechts)
101.00	100.33	101.00	100.33
101.00	100.33	101.00	100.33
95.81	95.15	95.80	95.14
95.81	95.16	95.80	95.13
80.17	79.61	80.15	79.59
80.18	79.61	80.16	79 59

Durchschnitt der Korrekt.-Zahlen (links)	(rechts)	und auf 100 umgerechnet (links)	(rechts)	Mittel
101.	100.33	100	100	100.00
95.80	95.14	94.85	94.83	94.84
80.16	79.59	79.36	79.33	79.35

Hieraus berechnen sich in gleicher Weise, wie beim Ruheversuch

$$5{,}16 - 0{,}3 = 5{,}13 \quad \text{ccm } CO_2$$

und 5,513 „ O.

Der respiratorische Quotient ist

$$\text{also } \frac{5{,}13}{5{,}513} = 0{,}931.$$

Als Gesamtwerte ergeben sich pro Minute eine Kohlensäureausscheidung v. 5.13 x 236,3 = 1212,40 ccm und eine Sauerstoffaufnahme 5,513 x 236,3 = 1302,90 „ da die Atemgrösse per Minute 23,63 Liter beträgt.

Von Interesse ist es noch, die Rückkehr der Atmung zur Norm nach Beendigung der Arbeit zu verfolgen. Bei dem Arbeitsversuch vom 13. März war für die Probenahme im ganzen 10 Minuten gearbeitet worden, bei 3 Minuten Vorarbeit. Die Arbeit betrug per Minute 372.05 M.Kg.; im ganzen also 3720.50 M.Kg. Die Atemgrösse der letzten Minute war, 8.96 l.

Dann gestaltet sich die Atmung des Mannes bei ruhigem Stehen wie folgt:

Zeit	Stand des Gasmessers	Atemgrösse
11,50	5038,3	
51	5054,6	16,3
52	67,6	13,0
53	80,2	12,6
54	92,1	11,9
55	5105,3	13,2
56	118,6	13,3
57	130,7	12,1
58	143,3	12,6
59	156,4	13,1
12.—	69,5	13,1
01	82,7	13,2
02	97,0	14,3
03	207,3	10,3
04	218,1	10,8
05	229,2	11,1
06	240,0	10,8
07	53,4	13,4
08	65,0	11,6
09	77,6	12,6

Dass die Atemgrösse auch, nachdem sie konstant geworden, etwas höher ist als bei den Ruheversuchen, erklärt sich daraus, dass der Mann hierbei steht und also immerhin gegenüber der Ruhe eine gewisse Muskelthätigkeit auszuüben hat.

Die Versuche einer jeden Reihe wurden dann zu-

nächst nach dem respiratorischen Quotienten geordnet. Selbstverständlich zeigten diese Quotienten auch bei konstanter Nahrung in den einzelnen Versuchen nicht unerhebliche Schwankungen, was bis zu einem gewissen Grade auf die unvermeidlichen Versuchsfehler zu beziehen ist, zum Teil aber auch daher kommt, dass die im Blute zirkulierende Nährstoffmenge, welche durch die Resorption im Darme einerseits, durch den Verbrauch andererseits geregelt werden, von Stunde zu Stunde notwendig sich ändern müssen. Nur im Durchschnitte einer 24stündigen Periode kann man volle Uebereinstimmung mit der verabreichten Nahrung erwarten. Die in jedem Versuche wirklich zersetzte Nährstoffmenge lässt sich aus dem respiratorischen Quotienten des betr. Versuches berechnen.

Da es in erster Linie auf den Stoffverbrauch während der Arbeit ankam, haben die Versuche am ruhenden Individuum wesentlich nur die Bedeutung den Subtrahendus zu liefern, welcher von dem Gesamtverbrauch des arbeitenden Mannes abgezogen werden musste, um den auf die Arbeit entfallenden Anteil zu finden; da nun dieselbe Sauerstoffmenge verschiedene Energiemengen bedeutet, je nach den Nährstoffen, zu deren Oxydation sie dient, bezw. je nach dem von der Zusammensetzung des Nährstoffes abhängigen resp. Quotienten, kann man nur solche Ruheversuche, welche den gleichen resp. Quotienten haben, ohne weiteres von dem Sauerstoffverbrauch und der Kohlensäureausscheidung der Arbeitsversuche subtrahieren.

Es konnten also für jede Ernährungsweise parallele Reihen von Ruhen und Arbeitsversuchen aufgestellt werden, welche im Mittel gleiche resp. Quoti-

enten hatten und bei denen daher auch die Einheit des verbrauchten Sauerstoffs die gleiche umgesetzte Energiemenge bedeutete.

Dadurch wird es ermöglicht, auch ohne die am Schlusse durchgeführte gesonderte Berechnung des Energieumsatzes für Ruhe und Arbeit den Verbrauch für die Arbeitseinheit in den einzelnen Versuchen jeder Reihe zu vergleichen, indem wir für jede Anzahl Arbeitsversuche den Anteil des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung, welcher zur Bestreitung der Arbeit gedient hat, ermitteln.

Durch Abzug der betreffenden Ruhewerte von jedem einzelnen Arbeitsversuche wurden aber die der Arbeitsleistung entsprechenden Werte gefunden. Dieses ist in den folgenden Tabellen über die Arbeitsversuche in den Kol. 6 und 7 geschehen und dann weiter in Kol. 8, 9 und 10 der für die M. Kg. Arbeit entfallenden Gaswechsel daraus abgeleitet.

Den nachher für die Mittelwerte noch genauer durchzuführenden Berechnungen des kalorischen Wertes des Gaswechsels, analoge Zahlen finden sich in Kol. 12. Dieselben sind unter Benutzung des in Kol. 11 berechneten respiratorischen Quotienten des Arbeitsgaswechsels, der übrigens von dem des gesamten Gaswechsels nur wenig abweicht, berechnet.

Diese Berechnung stützt sich auf die Thatsache, dass 1 ccm Sauerstoff, wenn er zur Oxydation von Fett dient, eine Wärmemenge von 4,686 Kal. liefert

bei einem Resp.-Quot. $= 0{,}7069$

wenn er zur Oxydation

von Stärke dient $\frac{5{,}047 \text{ kal.}}{0{,}361} = \frac{1{,}000}{0{,}2931}$

Wir haben daher für eine Zunahme des resp. Quotienten um 0,293 eine Zunahme der Wärmeproduktion von 0,361 Kal.

Zwischen den Grenzen 0,769 und 1,000 haben wir also für das Wachsen des R.-Quot. nun je 0,01 ein Wachsen des der reinen Fettverbrennung entsprechenden Wärmewertes $\frac{0{,}360}{29{,}3} = 0{,}0123$.

Auf dieser Grundlage wurde für jeden Versuch die 1 ccm Sauerstoff und weiterhin der Gesamtmenge des verbrauchten Sauerstoffs entsprechende Wärmemenge berechnet und in Kol. 12 aufgeführt.

Wir haben schliesslich nicht versäumt, durch Zusammenstellung der Abweichungen jedes einzelnen Versuchs vom Mittel die Fehlergrösse darzulegen. Der nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnete wahrscheinliche Fehler des Mittels jeder einzelnen Versuchsreihe ist in den Tabellen dem Mittel des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung per M. kg. (Kol. 9 und 10), sowie dem Mittel der M. kg. verbrauchten Kalorien (Kol. 12) beigefügt.

I. Fettdiät.

Tabelle 1. Gaswechsel in der Ruhe.

Periode	Datum	Resp. Quot.	Sauerstoff-Verband	Kohlensäure Ausscheidung
VIII	April 11	791	314,10	248,52
VIII	„ 9	781	285,82	223,26
III	März 3	780	305,10	238,00
	Durchschnittszahl	784	301,67	236,59
III	März 3	780	305,10	238,00
VIII	April 11	776	315,30	244,75
VIII	„ 10	774	321,65	248,90
VIII	„ 9	769	302,26	232,51
X	„ 30	749	311,81	233,83
X	„ 28	744	295,03	219,47
X	Mai 1	730	342,10	249,80
X	April 29	721	318,00	229,25
VIII	„ 10	718	330,70	237,44
II	März 5	715	360,10	257,42
X	April 27	708	340,45	240,96
III	März 5	708	310,34	219,60
III	Februar 29	693	313,36	217,10
X	Mai 2	686	314,04	215,57
III	März 4	682	311,37	212,35
III	„ 4	673	308,30	207,50
III	„ 2	668	315,72	210,98
	Durchschnittszahl	723	318,56	230,32

Tabelle 2. Gaswechsel

Periode	Datum	Resp. Quot.	Gesamt-		Arbeitswert	
			Sauerstoffverbrauch	Kohlensäure-Ausscheidg.	des Sauerstoffverbrauchs	der Kohlensäure-Ausscheidg.
1	2	3	4	5	6	7
III	Febr. 29.	819	892	730	590	491
X	April 27.	794	959	761	657	525
III	Febr. 28.	776	1360	1055	1058	818
X	April 28.	774	956	740	655	504
III	Febr. 29.	768	1347	1035	1045	798
III	März 2.	767	1248	958	947	721
		783	1122	880	825	643
X	April 27.	761	1145	872	826	641
X	„ 28.	759	1024	733	705	546
III	„ 29.	754	1054	749	735	585
III	März 5.	753	1033	778	715	548
X	April 30.	743	1032	767	714	537
III	Febr. 28.	732	1203	880	884	649
III	„ 24.	713	1012	725	698	495
III	„ 25.	712	1112	791	793	561
III	„ 25.	712	1068	761	750	530
X	Mai 2.	710	975	692	656	462
III	Febr. 26.	709	1069	758	750	527
X	Mai 2.	706	918	648	600	417
III	Febr. 24.	703	987	693	668	463
X	April 29.	701	897	629	578	398
III	Febr. 25.	700	1029	750	711	490
X	April 30.	698	894	624	676	394
	Im Mittel	724	1028	744	710	643

bei der Arbeit. Fettdiät.)

Meter kg per Minute	Sauerstoff-verbrauch per M. kg	Kohlen-säure-Ausscheidg. per M. kg	Resp. Quot. d. Arbeits-gas-wechsels	Per M. kg Arbeit er-forderliche Calorien
8	9	10	11	12
359,30	1,644	1,326	836	7,956
342,11	1,922	1,535	798	9,221
372,70	2,841	2,197	773	13,543
340,42	1,926	1,481	769	9,162
353,99	2,954	2,255	763	14,045
376,40	2,516	1,917	761	11,956
357,486	2,300	1,793	779	10,980
	*±0,18676	*±0,16492		
352,52	2,345	1,820	776	11,185
344,95	2,045	1,585	775	9,754
343,07	2,107	1,616	767	10,028
330.10	2,186	1,660	759	10,382
339,00	2,107	1,585	752	9,989
365,95	2,417	1,776	735	11,410
389,21	7,795	1,272	709	8,413
376,20	2,110	1,492	699	9,866
383,26	1,975	1,385	707	9,174
342,10	1,920	1,351	703	8,987
333,10	2,253	1,584	703	10,545
340,40	1,763	1,227	696	8,255
360,55	1.854	1,258	678	8,621
341,98	1,692	1,166	689	7,890
377,78	1,882	1,298	690	8,779
337.60	1,707	1,168	684	7,951
353,98	2,009	1,4536	720	9,452
	*±0,03752	*±0,0358		*±0,1839
	*Wahrscheinlichkeits-fehler.			* Wahr-scheinlich-keitsfehler.

Tabelle 3.

Stickstoffgehalt des Urins. (Fettdiät.)

Periode	Datum	Urin	Nahrung	Calorienwert	
		Stickstoff-Gehalt	Stickstoff-Gehalt	d. Stickstoffhalt. Nahrung	d. Gesamt-Nahrung
III	Febr. 24.	8,4955	10,395	240,75	2621,32
III	„ 25.	9,6783	10,405	366,63	2783,43
III	„ 26.	10,1985	10,405	366,63	2783,43
III	„ 27.	7,976	10,405	366,63	2783,43
III	„ 28.	12,1785	10,405	366,63	2783,43
III	„ 29.	6,9155	10,405	366,63	2783,43
III	März 1.	6,9020	10,405	366,63	2783,43
III	„ 2.	9,3379	10,405	366,63	2783,43
III	„ 3.	7,1831	10,405	366,63	2783,43
III	„ 4.	6,8166	10,405	366,63	2783,43
III	„ 5.	7,1399	10,405	366,63	2783,43
X	April 27.	8,0324	25,328	371,79	4321,66
X	„ 28.	7,8368	16,175	417,47	4475,86
X	„ 29.	11,6247	18,483	473,62	5060,72
X	„ 30.	9,4826	18,483	473,62	5060,72
X	Mai 1.	7,5661	18,483	473,62	5060,72
X	„ 2.	9,4223	18,483	473,62	5060,72
	Durchschnittszahl	3,6324	13,605	3486,28	3499,76

Von den Ruheversuchen bei Fettdiät zeigen die 3 ersten einen so hohen resp. Quotienten, dass man die Zersetzung erheblicher Mengen von Kohlenhydrat oder Eiweiss neben dem Fett annehmen muss. Das Gleiche gilt von den 6 ersten Arbeitsversuchen in Tabelle 2. Im Mittel ergeben diese 6 Versuche den resp. Quotient 0,783, identisch mit dem der vorgenannten 3 ersten Ruheversuche. Es ist deshalb von diesen 6 ersten Arbeitsversuchen zur Berechnung des auf die Arbeit entfallenden Anteils in Gaswechsel das

Mittel dieser drei Ruheversuche abgezogen worden. Die folgenden 16 Arbeitsversuche ergeben im Mittel den resp. Quotient 0,724, welcher der Zersetzung von Fett neben dem durch die Stickstoffausscheidung nachgewiesenen Eiweisszerfall und einer ganz geringen Menge Kohlenhydrat entspricht. Den gleichen Quotienten ergiebt das Mittel der zugehörigen 16 Ruheversuche, so dass dasselbe für die Arbeitsversuche in derselbe Weise verwendet werden kann, wie das Mittel der drei ersten Ruheversuche für das Mittel der sechs ersten Arbeitsversuche.

Bei dieser Berechnung ergiebt sich, dass die Leistung von 353,98 M. kg Arbeit eine Sauerstoffmenge von 710,40 und eine Kohlensäurebildung von 643,64 ccm erfordert, dass also für 1 M. kg Arbeit 2,009 ccm Sauerstoff und 1,4536 ccm Kohlensäure erforderlich.

Als Anhang zu den beiden, auf den Gaswechsel bezüglichen Tabellen gebe ich in Tabelle 3 eine Uebersicht der 24 stündigen Stickstoffausscheidung im Harn während der hier in Frage kommenden Perioden III und X. Nur in wenigen Fällen zeigt die Stickstoffausscheidung zweier aufeinander folgender Tage bei gleicher Nahrungszufuhr erhebliche Differenz; dann aber gleicht sich das Plus des einen Tages durch das Minus am folgenden Tage aus. Es handelt sich also offenbar um Unregelmässigkeit in der Abgrenzung der 24 stündigen Periode.

Der in der früher beschriebenen Weise nur abgeschätzte Stickstoffgehalt der Nahrung ist, wie das bei dem grossen Stickstoffverluste im Kot, den so reichliche Fettkost herbeizuführen pflegt, zu erwarten

war, erheblich höher als die Stickstoffausscheidung im Urin. Im Mittel 13,68 g gegen 8,6 g. Wie schon erwähnt, handelt es sich hier auch noch um einen erheblichen Eiweissansatz, was bei der geringen Arbeit und einer Energiezufuhr von fast 5000 Kal. nicht Wunder nehmen kann.

II. Kohlenhydratdiät.

Tabelle 4.

Gaswechsel in der Ruhe.

Periode	Datum	Resp. Quot.	Sauerstoff-Verbrauch	Kohlensäure-Ausscheidung
IX	April 24.	958	271	260
IX	„ 24.	955	279	266
IX	„ 24.	941	237	223
IX	„ 24.	907	313	284
IX	„ 24.	897	240	215
IX	„ 24.	883	361	319
IX	„ 24.	883	270	239
VII	„ 24.	881	254	224
VII	„ 24.	870	273	237
V	März 16.	857	297	255
VII	April 5.	854	250	213
	Durchschnittszahl	899	277	249
IX	April 21.	839	263	221
IX	„ 18.	837	249	246
IX	„ 23.	817	347	284
IX	„ 6.	802	259	208
V	März 15.	773	270	208
VII	April 4.	744	256	190
V	März 16.	738	266	196
	Durchschnittszahl	793	272	222

Tabelle 6.

Stickstoffgehalt des Urins. (Kohlenhydratdiät.)

Periode	Datum	Urin	Nahrung	Calorienwert	
		Stickstoffgehalt		der Stickstoff-nahrung	der Gesamt-nahrung
II	Febr. 19.	4,7375	8,304	212,74	2809,21
II	„ 20.	10,014	6,456	165,36	2111,40
V	März 16.	12,828	14,169	363,08	3950,96
VII	April 4.	8,504	7,254	185,64	2147,88
VII	„ 6.	6,3748	11,861	303,96	3786,88
IX	„ 15.	7,992	9,833	255,63	3023,88
IX	„ 16.	7,992	5,434	139,24	3123,56
IX	„ 17.	5,224	8,679	226,07	2725,91
IX	„ 18.	5,224	8,679	226,07	2723,63
IX	„ 19.	7,314	8,679	226,07	2723,63
IX	„ 20.	7,314	8,679	226,07	2723,63
IX	„ 21.	7,314	8,679	226,07	2725,91
IX	„ 22.	7,314	8,679	226,07	2725,91
IX	„ 23	8,032	8,679	226,07	2725,91
IX	„ 24.	8,071	8,679	226,07	2725,91
	Durchschn.-Zahlen:	7,4025	8,889	228,94	2850,34

Tabelle 5.

Gaswechsel

Periode	Datum	Resp. Quot.	Gesamt-		Arbeitswert	
			Sauerstoffverbrauch	Kohlensäure-Ausscheidg.	des Sauerstoffverbrauchs	der Kohlensäure-Ausscheidg.
1	2	3	4	5	6	7
IX	April 17.	963	923	889	645	640
IX	„ 22.	952	901	858	624	609
IX	„ 17.	949	1027	975	749	725
IX	„ 22.	947	894	847	617	598
IX	„ 23.	935	1116	1043	838	792
IX	„ 15.	931	1302	1212	1025	963
IX	„ 23.	926	972	898	695	649
IX	„ 23.	918	954	875	676	626
IX	„ 25.	913	1194	1095	918	845
IX	„ 20.	902	966	832	688	623
IX	„ 21.	898	874	386	593	536
IX	„ 24.	887	952	844	674	595
IX	„ 24.	878	1150	1010	873	761
IX	„ 19.	873	1042	909	764	660
IX	„ 18.	861	1242	1069	964	820
V	März 16.	849	1007	855	729	605
IX	April 16.	846	856	725	579	476
IX	„ 18.	843	1277	1077	1000	828
V	März 17.	843	898	757	620	508
	Durchschnittszahlen	901	1029	926	751	677
V	März 16.	821	944	776	668	554
II	Febr. 22.	816	1314	1072	1037	850
II	„ 20.	816	1089	888	813	667
II	„ 19.	807	1099	886	823	665
II	„ 20.	794	1067	843	791	625
II	„ 19.	774	1215	941	939	719
	Durchschnittszahlen	805	1121	902	847	672

bei der Arbeit. (Kohlenhydratdiät.)

Meter kg per Minute	Sauerstoff-verbrauch per M. kg.	Kohlen-säure-Ausscheidg. per M. kg	Resp. Quot. d. Arbeits-gas-wechsels	Per M. kg. Arbeit er-forderliche Calorien
8	9	10	11	12
363,30	1,779	1,763	991	8,957
327,874	1,905	1,858	975	9,553
356,535	2,104	2,036	967	10,528
318,674	1,937	1,878	969	9,701
350,90	2,391	2,264	946	11,905
384,35	2,668	2,506	939	13,264
344,30	2,020	1,887	934	10,030
339,00	1,996	1,849	926	9,891
339,00	2,704	2,495	922	13,385
326,315	2,110	1,908	904	10,398
322,193	1,854	1,666	898	9,123
341,96	1,974	1,741	882	9,697
339,00	2,575	2,246	872	12,588
330,857	2,311	1,995	862	11,270
363,299	2,655	2,259	851	12,912
359,05	2,032	1,687	830	9,829
360,77	1,606	1,320	822	7,752
368,432	2,715	2,248	828	13,125
340,65	1,823	1,497	820	8,787
346,14	2,172	1,957	901	10,607
	± 0,05449	± 0,04419		
349,15	1,915	1,589	829	9,261
353,55	2,936	2,406	819	14,162
360,60	2,257	1,851	813	11,095
357,10	2,306	1,864	808	11,092
374,78	2,111	1,670	791	10,110
774,16	2,508	1,921	766	11,933
361,6	2,338	1,888	804	11,275
	± 0,18833	± 0,16901		± 0,2641
	Wahrscheinlichkeits-fehler			Wahr-scheinlich-keitsfehler

Auch bei den Kohlenhydratversuchen ist eine Gruppe minderwertig, weil der resp. Quotient minderwertig ist, und noch eine erhebliche Menge Fett beim Umsatz beteiligt erscheint. Die 19 Versuche der Tabelle 5, in welchen bei der Arbeit der resp. Quotient den höchsten Stand hatte, ergaben für denselben, den Mittelwert 0,901. Diesem kommt das Mittel der in Tabelle 4 zuerst aufgeführten 12 Ruheversuche mit 0,899 nahe genug, um die zugehörigen Mittelwerte für Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung als Ruhewerte von jedem der vorgenannten Arbeitsversuche abziehen zu können. Wir kommen dann zu dem Ergebnis, dass bei dieser Kost zur Leistung von 366,14 M. kg Arbeit entfällt ein Sauerstoffverbrauch von 2,172 ccm und eine Kohlensäureproduktion von 1,957 ccm.

Die 6 Arbeitsversuche mit dem niedrigsten resp. Quotienten (0,805 im Mittel) können mit den sieben, bisher nicht berücksichtigten Ruheversuchen, welche den Quotienten 0,793 ergaben, verglichen werden. Besser ist es, den letzten Versuch vom 16. März wegzulassen. Es bleiben dann 6 Versuche mit dem Quotienten 0,802, der dem der 6 Arbeitsversuche nahe genug kommt. Der mittlere Sauerstoffverbrauch der 6 Ruheversuche ist = 272, die mittlere Kohlensäureausscheidung = 222. Nach Abzug dieses Ruhewertes resultieren die in der zweiten Hälfte der Tabelle 5 Kol. 6 und 7 aufgeführten Arbeitswerte des Gaswechsels, aus welchem sich mit Hilfe der in Kol. 8 enthaltenen Arbeitsgrösse als mittlerer Sauerstoffverbrauch für 1 M. kg Arbeit 2,338 ccm neben 1,888 ccm Kohlensäure berechnet.

Zur Kontrolle des Stickstoffumsatzes und der Energiezufuhr durch die Nahrung gebe ich die der Tabelle 3 analoge Tabelle 6.

III. Eiweissdiät.

Tabelle 7.

Gaswechsel in der Ruhe.

Periode	Datum	Resp. Quot.	Sauerstoff-verbrauch	Kohlensäure-Ausscheidg.
VI	April 1.	889	286	254
I	Febr. 10.	838	319	267
		863	302	260
I	Febr. 9.	837	334	280
VI	März 31.	822	310	254
VI	„ 31.	822	324	266
VI	April 2.	807	306	247
VI	„ 1.	790	293	231
VI	„ 2.	780	306	238
I	Febr. 9.	776	285	221
IV	März 13.	767	303	232
I	Febr. 10.	766	287	220
		796	306	243
IV	März 6.	716		
IV	„ 10.	712	315	224
	Gesamt-Durchschnitts-zahl	794	305	244

Tabelle 8.

Gaswechsel bei der Arbeit. (Eiweissdiät.)

Periode	Datum	Resp. Quot.	Gesamt-		Nettowert		Meter kg per Minute	Sauerstoffverbrauch per Meter kg	Kohlensäure-Ausscheidg. per Meter kg	Resp. Quot. d. Arbeitsgaswechsels
			Sauerstoffverbrauch	Kohlensäure-Ausscheidg.	des Sauerstoffverbrauchs	der Kohlensäure-Ausscheidg.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	Febr. 10.	840	1188	998	882	755	308,24	2,884	2,450	849
I	„ 18.	832	1240	1032	934	788	381,95	2,446	2,064	844
I	„ 10.	829	1123	931	818	687	321,70	3,543	2,137	840
I	„ 11.	810	916	941	610	498	303,34	2,014	1,642	812
I	„ 18.	810	1322	1071	1016	828	387,90	2,622	2,135	814
IV	März 13.	802	992	796	686	552	353,47	1,943	1,564	805
IV	„ 7.	784	1170	918	884	674	355,40	2,434	1,898	778
I	Febr. 11.	779	1020	795	714	551	309,82	2,305	1,781	773
IV	März 11.	765	950	726	644	487	336,66	1,914	1,434	749
IV	„ 11.	755	1201	907	895	663	386,50	2,372	1,718	724
IV	„ 7.	755	1275	963	969	719	355,35	2,728	2,024	742
	Durchschnittszahlen	796	1127	889	821	654	345,48	2,379	1,895	797
								± 0,06440	± 0,06103	
								Wahrscheinlichkeitsfehler		

Die bei Eiweissdiät angestellten Versuche sind die mangelhaftesten, schon deshalb, weil die verdaute Eiweissmenge nicht hinreichte, auch nur den grössten Teil des Ruhestoffwechsels zu decken. Die Versuche haben also eigentlich nur den Sinn, zu sagen, ob der im wesentlichen durch Kohlenhydrat und Fett bestrittene Arbeitsbedarf des Individiums eine Aenderung erfährt, wenn eine reichliche Eiweisszufuhr stattfindet. Entsprechend der geringen Beweiskraft der Versuche für die Hauptfrage, welche sie eigentlich beantworten sollten, habe ich ihre Zahl auf ein geringeres Mass beschränkt als in den Versuchen mit vorwiegender Fett- oder Kohlenhydratkost. Den 11 Arbeitsversuchen stehen im ganzen 13 Ruheversuche gegenüber, welche dem mittleren respiratorischen Quotienten 0,794 aufweisen. Von diesen Versuchen müssen der erste und die beiden letzten eliminiert werden, weil die resp. Quotienten zu sehr nach oben bezw. nach unten von dem der Eiweisszersetzung zukommenden Werte abweichen.

Um im Mittel genau den resp. Quotienten der Arbeitsversuche zu haben, lasse ich auch noch die Versuche vom 10. Februar und 1. April ausser acht, und behalte so neun Versuche übrig, welche im Mittel genau denselben respiratorischen Quotienten (796), wie die Arbeitsversuche geben. Der Arbeitswert ergibt, im Mittel, 822 ccm Sauerstoffverbrauch und 654 ccm Kohlensäureproduktion, bei 345,48 M. kg Arbeit. Für das M. kg Arbeit erhalte ich einen Sauerstoffverbrauch von 2,379 ccm und eine Kohlensäureausscheidung von 1,895.

Die Stickstoffausscheidung des Urin war gerade

in dieser Reihe auffallend wechselnd, so dass der Verdacht nicht unterdrückt werden kann, dass das Versuchsindividuum die verschiedenen Fleisch- und Käsemengen nur zum Teil verzehrt hat. Ich möchte deshalb auch aus diesem Grunde auf diese sog. Eiweissversuche nur wenig Wert gelegt wissen.

Wir können den Inhalt vorstehender Tabellen durch Zusammenfassung der Mittelwerte in folgender Weise resumieren: 1 M. kg Arbeit erfordert

bei vorwiegender Fetternährung 2,009 ccm O,
1,4536 ccm CO_2, 9,452 Kal.
„ „ Kohlenhydrat 2,338 ccm O,
1,888 ccm CO_2 11,275 Kal.
„ „ Eiweiss 2,379 Kal.
1,895 ccm CO_2,

wobei aber noch bei letzterer der grösste Teil der während des Tages umgesetzten Energie durch Stickstoff freie Stoffe bestritten werden musste.

Es fragt sich nun, wie weit diese Berechnungen durch die Annahme, dass der Zuwachs des Stoffverbrauchs bei der Arbeit nur auf Rechnung der stickstofffreien Nährstoffe falle, fehlerhaft sein können. Um diese Frage zu beantworten, müssen wir die Berechnungen wiederholen unter der Annahme, dass auch das Eiweiss und zwar in möglichst hohem Masse die Arbeitssteigerung des Stoffverbrauchs beteiligt sei. Bei der Versuchsreihe mit eiweissreicher Nahrung würde der respiratorische Quotient, welcher dem des ausschliesslichen Eiweissumsatzes sehr nahe kommt, der Annahme nicht im Wege sein, dass die grösste Arbeitskraft ausschliesslich durch Verbrennung von Eiweiss erzeugt sei. An der Hand dieser extremen An-

nahme würden wir, gestützt auf eine von Zuntz[1]) vor kurzem ausgeführte Berechnung, zu folgenden Zahlen kommen:

Wir nehmen im Anschlusse an die Auseinandersetzung folgende Elementarzusammensetzung des Fleisches an:

49,86 % C; 7,26 % H; 15,45 % N;
20,80 % O . . . 534,3 Kal.

Wir rechnen ferner auf 100 g.
gesetzten Fleisches an Kot:

10,60 g C; 2,66 g H; 15,40 g N; 11,333 g O . . .
121,09 Kal.

Da wir vorher mit einem Stickstoffgehalte von 15,45 % rechneten, so sind diese Zahlen im Verhältnis $\frac{15,45}{15,40}$ zu erhöhen auf:

10,63 g C, 2,57 g H, 15,45 g N, 11,73 g O, — 121,5 Kal.

Von dem Mittel der Fleischanalysen bleibt nach Abzug dieser Zahlen übrig:

39,23 g C. 4,59 g H, — g N, 9,43 g O — 412,8 Kal.

Denken wir uns die 9,43 g O mit 1,18 g H zu Wasser vereinigt, so bleiben für die Respiration:

39,23 g C, 3,41 g H, diese bilden
mit 104,61 g O, 27,28 g O
143,84 g C, 02 30,69 g H 2 O.

Der respiratorische Quotient ist

$$\frac{104,61}{104,61 + 27,28} = 0,793.$$

Die durch die Atmung aufzunehmenden 131,89 g O sind bei 0° und 760 mm = 92,228 l, die ausscheiden-

[1]) Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 68. 1897 pag. 202.

den 143,84 g CO_2 = 73,152 l. Diese Gasmengen gehören zu 15,21 g N im Harn. Auf jedes g Harnstickstoff entfällt also:

Verbrauch von $\frac{92,228}{15,21}$ = 6,064 l Sauerstoff.

Bildung von $\frac{73,152}{15,21}$ = 4,809 l Kohlensäure.

Bildung von $\frac{412,8}{15,21}$ = 27,14 Kal. Wärme.

Auf 1 l bei der Fleischzersetzung verbrauchten Sauerstoffs entstehen $\frac{412,8}{92,228}$ = 4,476 Kal., also weniger als bei Verbrennung der N freien Nährstoffe.

1 l O liefert bei Fettverbrennung 4,686 Kal.
„ Glycogen „ 5,047 „

Die übrigen Kohlensäurehydraten weichen von dieser Zahl nur wenig ab: es kommen in Betracht Stärke, Traubenzucker, Milchzucker und Rohrzucker. Bei der Stärke haben wir folgende Werte zu berücksichtigen:

C 6 H 10 O 5, Mol.-Gew. 162, O-Verbrauch = 12,16 = 192 g O.

1 g O liefert $\frac{4182 \cdot 162}{192}$ = 3,529 Kal., da der Verbrennungswert für 1 g Stärke 4182 Kal. beträgt.

Für 1 l O erhalten wir alsdann 3,529·143 = 5,0465 Kal. identisch mit Glycogen.

Für Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$ Mol.-Gew. 180 beträgt der Kalorienwert nach Stohmann 3743 Kal. Wir erhalten somit, da der Sauerstoffverbrauch derselbe ist wie vorher:

für 1 g O 3,509 Kal.
„ 1 l O 5,018 „

Die Verbrennungswärmen der anderen hier in Betracht kommenden Zuckerarten liegen offenbar zwischen diesen für Stärke und Traubenzucker erhaltenen Werte. Wir legen deshalb unseren weiteren Berechnungen das Mittel hieraus zu Grunde, so dass wir also folgende Werte zu berücksichtigen haben:

1 l O liefert bei Verbrennung von Kohlenhydraten . . . . . 5,032 Kal.
1 l O liefert bei Verbrennung von Fetten 4,686 „
Resp.-Quotient für Fette 0,7069
„ „ „ Kohlenhydrat 1,00

Auf Grund vorstehender Daten gelangte ich zu der Annahme, dass der Sauerstoffverbrauch bei Muskelverbrauch ausschliesslich zur Eiweissverbrennung gedient habe, zu folgender Berechnung:

1 ccm O liefert 4,476 Kal.; folglich ergibt sich für 1 M kg Arbeit 10,65 Kal., da hierfür 2,37 ccm O verbraucht werden.

Der früher gemachten Annahme dagegen, dass nur Fett und Kohlenhydrat die Arbeit bestreiten, würde folgender Rechnung entsprechen:

Der resp. Quotient im Mittel der Arbeitsversuche ist = 0,797.

Der resp. Quotient ist also um 0,797—0,707 = 0,09 höher als bei reiner Fettverbrennung. Wir müssen also den der Fettverbrennung entsprechenden Kalorienwert um 9 x 0,013 = 0,117 erhöhen. Wir erhalten daher für 1 ccm Sauerstoff 4,803 Kal., für die 2,379 somit 11,43 Kal.

Zwischen diesen beiden Extremen 10,65 und 11,43

kann der wahre Energieverbrauch in dieser Reihe gesucht werden.

Am meisten Wahrscheinlichkeit für sich hat wohl die Annahme, dass der Eiweissumsatz bei der Arbeit zwar wächst, aber doch nur in annähernd gleichem Masse wie der gesamte Stoffwechsel. Diese Annahme führt zunächst für die Eiweissreihe zu folgender dritter Rechnung.

Wir nehmen dabei das Mittel der Stickstoffausscheidung von 10.—13. März, welches 17,5 g pro 24 Stunden ergab. Für 1 Minute berechnen sich hieraus 12,16 m g.

Für 1 m g N werden nun verbraucht 5,9499 ccm O und gebildet 4,7224 ccm CO_2. Für die oben berechneten 12,16 m g N ergeben sich also 72,366 ccm O und 57,44 ccm CO_2.

Der Gesamtwechsel pro Arbeitsminute betrug:

1127,467 O und 889,441 ccm CO_2

davon für Eiweiss 72,36 O „ 57,44 „ CO_2

1055,107 832,001

Somit bleiben für Fett und Kohlenhydrat

1055,107 ccm O und 832,001 ccm CO_2.

Nennen wir nun die zur Oxydation von Fett dienende Sauerstoffmenge X, so gilt, da (1055,107 — X) ccm O zur Oxydation von Kohlenhydraten verbraucht sind, mit Rücksicht auf die gebildete COq-Menge folgende Gleichung:

$$0{,}7069\ x + 1055{,}107 - x = 832{,}001;$$

$$x = 761{,}20\ \text{O}.$$

Für Fett und Kohlenhydrat 1055,107 ccm O

„ Fett allein . . . . . 761,20 „ O

293,907 ccm O.

Somit bleiben für Kohlenhydrat 293,907 ccm O. Wir haben also folgende Werte bei der Eiweissdiät zu berücksichtigen:

72,36 ccm O zur Oxydation von Eiweiss
761,20 „ O „ „ „ Fett
293,907 „ O „ „ „ Kohlenhydrat.

Daraus berechnet sich der Energieverbrauch für den Arbeitsverbrauch in folgender Weise:

Eiweiss	= 72,36	· 4,4867	= 324,66	Kal.
Fett	= 761,2	· 4,686	= 3567,0	„
Kohlenhydrat	= 293,907	· 5,032	= 1479,0	„
			5370,66	Kal.

Als Energieverbrauch ergeben sich 5370,66 Kal.

Zu diesen Arbeitsversuchen bei Eiweissdiät gehören nun folgende Ruhewerte, die ebenfalls meinen für den März erhaltenen Zahlen entnommen sind.

Durchschnittlich wurden verbraucht 305,687 ccm O
Davon wurden für Eiweiss verwendet 72,36 „ O
Somit bleiben für Fett und Kohlenhydrat 233,327 ccm O

Für die Kohlendioxydbildung gestaltet sich das Verhältnis folgendermassen: CO_2 243,77 ccm
Für Eiweiss . . . . 57,44 „
186,33 ccm CO_2.

Daraus berechnen sich in gleicher Weise wie bei dem Arbeitsversuche folgende Zahlen:

Für Eiweiss . .	72,36 ccm O	= 324,66	Kal.
„ Fett	160,34 „ O	= 751,37	„
„ Kohlenhydrat	72,987 „ O	= 367,27	„
		1443,30	Kal.

Nun sind im ganzen bei der Eiweissdiät 15,69 g N pro 24 Stunden ausgeschieden worden und als Arbeitsdurchschnitt ergaben sich 345,48 m kg. Hieraus berechnen sich pro M. kg.

$$\frac{15}{1440 \cdot 345{,}48} = 6920 \text{ M. g} = 0{,}031543 \text{ M. g N.}$$

für 1 M. g N. werden verbraucht 5,9495 ccm O und gebildet 4,7224 ccm CO_2.

Hieraus berechnen sich für 0,031543 M. g N. 9,18767 ccm O und 0,14896 ccm CO_2.

Die Gesamtmenge des per Meter kg verbrauchten Sauerstoffs betrug 2,378 ccm und die der gebildeten CO_2 1,895.. Somit bleiben für Fett und Kohlenhydrat 2,19033 ccm O und 1,74604 CO_2.

Hieraus berechnen sich

1,51583 ccm O für Fett und
0,67450 „ O „ Kohlenhydrat.

Es ergeben sich alsdann

für	Fett . . .	7,1032 Kal.
„	Kohlenhydrat	3,3941 „
„	Eiweiss . . .	0,8289 „
		11,2262 Kal.

Somit werden bei Eiweissdiät pro M. kg Arbeit verbraucht 11,2262 Kal. (10,65 : 11,43).

Bei Fettdiät führen wir nun die analoge Rechnung durch. Es wurden im Harn pro 24 Stunden ausgeschieden 8,6324 g N. und als Arbeitsmittel ergaben sich 353,89 M. kg. Legen wir unserer Rechnung wieder das Verhältnis zu Grunde, dass für 1 M. g N. 5,9495 ccm O verbraucht und 4,7224 ccm CO_2 gebildet werden, so ergeben sich für 0,01694 m. g N. (pro

Minute und M. kg ausgeschiedene Menge) 0,10076 ccm O und 0,07998 ccm CO_2.

Hieraus ergeben sich bei der Fettdiät folgende Werte:

für Fett	1,81754	ccm	O und	8,5168	Kal.
„ Kohlenhydrat .	0,08920	„	O „	0,44885	„
„ Eiweiss . . .	0,10076	„	O „	0,44504	„
	2,00750			9,41069	Kal.

Wenn wir endlich auch für Fettdiät wieder die Annahme machen, dass so viel Eiweiss, wie die Beschaffenheit des Gaswechsels zulässt für die Arbeit verbraucht sei, dann erhalten wir folgende Rechnung:

	O-Verbrauch	CO_2-Produktion
Arbeitswert	1028	744
Ruhewert	318	230
	710	514

Es beträgt nun der resp. Quotient bei Eiweissverbrennung 0,793
bei Fettverbrennung 0,707
0,086

Daraus ergibt sich für die Verteilung der Kohlensäure zwischen Eiweiss und Fett folgende Gleichung, wenn wir die zur Eiweissoxydation nötige Sauerstoffmenge x nennen:

$$0{,}793\ x + 0{,}707\ (710 - x) = 514$$

$$0{,}086\ x = 12$$

$x = 140$ ccm O werden verbraucht f. Eiweiss
$710 - 140 = 570$ „ O „ „ „ Fett.
Da 1 ccm O bei Oxydation von Eiweiss 4,4866 Kal.
„ 1 „ O „ „ „ Fett 4,86 „

liefert, würde sich die gesamte Wärmeproduktion im Dienste der Arbeit stellen auf:

$140 \cdot 4{,}4863 = 628{,}138$ Kal.
$570 \cdot 4{,}686 = 2971{,}020$ „
für 353,98 M. kg Arbeit = 3599,158 Kal.
für 1 M. kg Arbeit = 10,167 Kal.

Somit werden bei der Fettdiät pro M. kg. Arbeit 9,41069 — 10,167 Kal. verbraucht.

Für die Kohlenhydratdiät ergaben sich als 24 stündige Stickstoffmenge 7,4025 g und als Arbeitsdurchschnitt pro Minute 346,140. Hieraus berechnen sich pro Minute und M. kg. 0,014847 m. g N., welche 0,088332 ccm und 0,070115 ccm CO_2 entsprechen.

Führen wir die weitere Rechnung unter den gleichen Voraussetzuugen wie vorher aus, so erhalten wir:

		I.	II.
für Kohlenhydrat .	1,413108 ccm O	u. 7,111 Kal.	7,1110 Kal.
für Fett .	0,664561 „ O	„ 3,1141 „	3,1141 „
für Eiweiss	0,088332 „ O	„ 0,3902 „	0,4242 „
	2,166001 ccm O	u. 10,6153 K.	10,6493 K.

Für 1 M. kg Arbeit werden also bei vorwiegender Kohlenhydratdiät verbraucht: 10,6153 — 10,6493 Kal.

Die von mir erhaltenen Werte für die Arbeit von 1 M. kg sind nochmals in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei die unter I ausgeführten Zahlen die Arbeit bedeuten unter der Annahme, dass das Eiweiss sich ebenfalls an der Muskelarbeit beteilige und zwar in demselben Verhältnis, wie es am Kotstoffwechsel teilnimmt. Die unter II dagegen unter der Annahme berechnet sind, dass nur Fett und Kohlenhydrat als Arbeitsquelle angesehen sind und unter III unter der

Voraussetzung, dass das Eiweiss die bevorzugte Quelle der Muskelkraft sei, auch dass es in der Eiweissreihe, in welchen der resp. Quotient dem theoretischen der reinen Eiwisszersetzung nahe kommt, ausschliesslich die Kraft geliefert habe, während es sich in der Fettreihe mit Fett, in der Kohlenhydratreihe mit Kohlenhydrat in dem durch die resp. Quotienten gegebenen Verhältnis in die Kraftlieferung teilen würde:

	I.	II.	III.
Fettdiät	9,411	9,452	10,167
Kohlenhydratdiät	10,615	11,275	10,649
Eiweissdiät . . .	11,362	11,34	10,65

Hieraus ergibt sich zunächst die Unrichtigkeit der Chauveauschen Ansicht, dass bei vorwiegender Fettverbrennung mehr Energie verbraucht wird, als bei Kohlenhydratverbrennung. Weiterhin lässt sich aber auch aus diesen Ergebnissen der Schluss folgern, dass die verschiedenen Nährstoffe sich annähernd im Verhältnis ihrer Verbrennungswärme für die Muskelarbeit vertreten. Auch bei diesen Versuchen zeigt sich der Respirationsquotient für Ruhe und Arbeit gleich.

Bei Betrachtung der vorliegenden Versuche ist es nicht ohne Interesse, die Frage zu untersuchen, welche Rolle speziell das Eiweiss im Stoffwechsel des thätigen Organismus spielt bezw. ob dasselbe in der Lage ist, das Energiebedürfnis zu decken, und welche Antwort das Resultat unserer Versuche auf die Frage bietet.

Diese Lehre wurde in der Hauptsache durch die grundlegenden Versuche ausgebaut, die Carl v. Voit zum Teil allein, zum Teil in Gemeinschaft mit anderen anführte und es ist lehrreich, den Wegen dieses Forschers nachzugehen in dieser Frage, wie er sie in seinem Buch[1]) dargestellt hat. Im Gegensatz zu der alten, bes. von Liebig vertretenen, aber nur auf einem Analogieschluss beruhenden Lehre, dass der vorwiegend aus Eiweiss bestehende Muskel bei seiner Thätigkeit auch wieder nur vorwiegend aus Eiweiss in grösserer Menge verbrauche, wurde durch Carl von Voit's Versuche erwiesen, dass die Zersetzungsgrösse für die N haltigen Substanzen im ruhenden und in dem Muskelarbeit leistenden Organismus nur unwesentlich zu Gunsten des letzteren ansteigt. Dass diese geringe Steigerung in der Ausscheidung N haltiger Harnbestandteile beim arbeitenden Organismus thatsächlich vorhanden sei, hat Carl von Voit, wie gegenüber den Missverständnissen anderer, auch Krummacher[2]) und Erwin Voit[3]) betont haben, nie bestritten. Aber es dreht sich ja auch bei dieser Frage gar nicht darum, ob überhaupt eine absolute Steigerung der Zersetzungsgrösse für die N haltigen Substanzen statthatte, als vielmehr darum, ob die Menge des im arbeitenden Organismus mehrzersetzten Eiweisses hinreichte, dass durch die geleistete Arbeit gesetzte Energiebedürfniss zu decken. Dies war nie auch bei reichlicher Eiweissnahrung nicht der Fall. Somit liegt es nahe anzunehmen, dass der bei reichlicher Fleisch-

[1]) Hermanns Handb. d. Phys. Bd. V. Teil I pag. 189 hh.
[2]) Zeitschr. f. Biologie N. F. 15 (33. 1896) pag. 10 ff.
[3]) Zeitschr. f. Biologie W. J. 14 (32) 1795. pag. 58.

fütterung beobachtete Mehrverbrauch an Eiweisskörpern durch die Arbeit direkt und unmittelbar nicht hervorgerufen sein kann, und dass die Arbeit auch ohne die gesteigerte Zersetzung stickstoffhaltiger Substanz geleistet werden konnte. Die Ursache für die erhöhte Zersetzungsgrösse von N im arbeitenden Organismus glaubte C. v. Voit[1]) darin zu finden, dass durch die Arbeit gesetzte Nebenumstände den reichlichen Zerfall der N Körper bedingten. Er wies hierbei hin auf die bedeutende Wasserverdunstung und die in der Folge in reichlicherem Masse statthabende Wasseraufnahme: ferner auf die dadurch gesteigerte Herz-, Athem- und Körperbewegung beschleunigte Cirkulation im Organismus. Im Hungerzustand trifft dann das Blut in geringerem Mass auf zerlegbare N haltige Substanz als bei reichlicher Fleischfütterung. Ausserdem wird, — und diese Bemerkung war für die Erklärung der abweichenden auffallenden Ergebnisse des bekannten Hohenheimer Pferdeversuches von Wichtigkeit, — in reichlicherem Masse zur Leistung der Arbeit Fett verbraucht, das seinerseits die Eiweisskörper vor der Zersetzung schützte, und dieser Fettverlust ist die Ursache gesteigerten Zerfalls der N haltigen Körper.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, abseitsgelegene Erklärungen zu geben für die geringe Steigerung der Eiweisszersetzung am Arbeitstag gegenüber der im Ruhetag, um die Lehre von der vorwiegenden Leistung der Eiweisskörper bei der Muskelaktion aufrechterhalten zu können. Keiner dieser Einwände ist stich-

[1]) Hermanns Handbuch f. Phys. VI. Theil 1 pag. 190.

haltig und die hauptsächlichsten derselben hat sich C. v. Voit[1]) schon klar gemacht, aber auch ihre Hinfälligkeit erwiesen; und wie beim Hund, so war auch beim Menschen das Ergebnis der angestellten Stoffwechselversuche das gleiche, nämlich eine verschwindend kleine Differenz zwischen der Zersetzungsgrösse für die N Körper im Ruhezustand und während der Arbeit. Um nun die Frage aufzuklären, ob das zersetzte Eiweiss zur Hervorbringung der geleisteten Arbeit ausreicht, hat Krummacher drei Versuche angestellt im Laboratorium Voit's und gefunden, dass in keinem der drei Fälle das bei der Arbeit mehr zersetzte Eiweiss ausreicht, um die Energiemenge der Arbeit zu decken, und so haben es auch alle früheren Versuche ergeben. Wir müssen daraus wiederum den Schluss ziehen, dass die erforderliche Energie für die Muskelarbeit nicht vom Eiweiss ausschliesslich herrühren kann, sondern ebensogut auch den N freien Stoffen entstammen muss. Diesen Standpunkt nimmt auch Erwin Voit[2]) ein, der in seiner gemeinsam mit Korkunoff gefertigten Arbeit betonte, dass Eiweiss, Fett- und Kohlenhydrate in Beziehung auf die Muskelarbeit die gleiche Bedeutung haben. Da aber die Grösse der Zersetzung N haltiger Körper nicht hinreicht, um die für die geleistete Arbeit erforderliche Energiemenge zu decken, so kann man auch den Standpunkt Pflüger's und Verworn's nicht vertreten, dass nur das Eiweiss die Quelle der Muskelenergie sein könne, wenigstens nicht, solange man daran festhält, dass, wie Krummacher sagt,

[1]) loc. cit.

[2]) Loc. cit. Vgl. bes. d. Anhang der betr. Arb.

der N Gehalt der Exkrete den Massstab der Eiweisszersetzung abgiebt.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit schliesst sich dem gesagten an, sie bietet uns kein Resultat, das annehmen liesse, dass begründeterweise das Eiweiss die einzige Quelle der bei der Muskelthätigkeit verbrauchten Energie darstelle. Der Eiweissumsatz wächst zwar bei der Arbeit, aber nur in annähernd gleichem Masse wie der gesamte übrige Stoffwechsel. Dass dieses Wachsen des Eiweissverbrauches auf gesteigerte Zerlegung zwecks Gewinnung der durch die Muskelarbeit benötigten Energie zurückzuführen sei, ist nach wie vor unerwiesen, ja sogar wahrscheinlich, und es bleibt wohl dabei, dass im gewöhnlichen Hergang des Geschehens das Fett und die Kohlenhydrate die Energiequelle für die Muskelarbeit sind. Damit soll aber durchaus nicht ausgeschlossen sein, dass nicht geeigneten Falles, ausnahmsweise auch das Eiweiss ausschliesslich die Quelle der Muskelkraft werden könne; man denke hierbei an einen sehr fettarmen Organismus, dem wenig oder besser zu wenig Kohlehydrat und Fett in der Nahrung zugeführt wurde. (Vergl. den Hohenheimer Pferdeversuch[2]) und die Erklärung, die Carl von Voit für das Resultat desselben gegeben hat.)

[1]) Herrmanns Handb. Bd. VI. Teil I pag. 197/198 ff.